

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/004894

International filing date: 14 March 2005 (14.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: US
Number: 60/555,417
Filing date: 23 March 2004 (23.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 31 March 2005 (31.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

14. 3. 2005

PA 1280232

THE UNITED STATES OF AMERICA

TO ALL TO WHOM THESE PRESENTS SHALL COME:

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE

United States Patent and Trademark Office

February 04, 2005

THIS IS TO CERTIFY THAT ANNEXED HERETO IS A TRUE COPY FROM THE RECORDS OF THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE OF THOSE PAPERS OF THE BELOW IDENTIFIED PATENT APPLICATION THAT MET THE REQUIREMENTS TO BE GRANTED A FILING DATE UNDER 35 USC 111.

APPLICATION NUMBER: 60/555,417

FILING DATE: March 23, 2004

**By Authority of the
COMMISSIONER OF PATENTS AND TRADEMARKS**



**P. SWAIN
Certifying Officer**

PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT COVER SHEET

This is a request for filing a PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT under 37 CFR 1.53(c).

INVENTOR(S)

Given Name (first and middle [if any])	Family Name or Surname	Residence (City and either State or Foreign Country)	
Ryouichi TAKEUCHI		Chichibu	Japan
Takashi UDAGAWA		Chichibu	Japan

☐ Additional inventors are being named on the _____ separately numbered sheet(s) attached hereto

TITLE OF THE INVENTION (500 characters max)
COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING DIODE

CORRESPONDENCE ADDRESS

Direct all correspondence to the address for SUGHRUE MION, PLLC filed under the Customer Number listed below:

WASHINGTON OFFICE

23373

CUSTOMER NUMBER

ENCLOSED APPLICATION PARTS (check all that apply)

- Specification
(Japanese Language) Number of Pages 16 ☐ CD(s), Number _____
- ☒ Drawing(s) Number of Sheets 1 ☐ Other (specify) _____
- ☐ Application Data Sheet. See 37 CFR 1.76

METHOD OF PAYMENT OF FILING FEES FOR THIS PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT

- ☐ Applicant claims small entity status. See 37 CFR 1.27.
- ☒ A check or money order is enclosed to cover the Provisional filing fees. The USPTO is directed and authorized to charge all required fees, except for the Issue Fee and the Publication Fee, to Deposit Account No. 19-4880. Please also credit any overpayments to said Deposit Account.
- ☐ The USPTO is hereby authorized to charge the Provisional filing fees to our Deposit Account No. 19-4880. The USPTO is directed and authorized to charge all required fees, except for the Issue Fee and the Publication Fee, to Deposit Account No. 19-4880. Please also credit any overpayments to said Deposit Account.

FILING FEE
AMOUNT (\$)

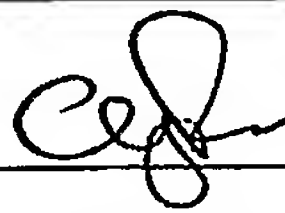
\$160.00

The invention was made by an agency of the United States Government or under a contract with an agency of the United States Government.

- ☒ No.
- ☐ Yes, the name of the U.S. Government agency and the Government contract number are:

Respectfully submitted,

SIGNATURE



DATE March 23, 2004

TYPED or PRINTED NAME Abraham J. Rosner

REGISTRATION NO. 33,276

TELEPHONE NO. (202) 293-7060

DOCKET NO. P80551

USE ONLY FOR FILING A PROVISIONAL APPLICATION FOR PATENT

【書類名】明細書

【発明の名称】化合物半導体発光ダイオード

【技術分野】

【0001】

本発明は、III-V族化合物半導体層を発光層とする化合物半導体発光ダイオード（light-emitting diode、以下LEDとも言う。）において、LEDの駆動電流を発光層の広範囲に亘り拡散させるための電流拡散層を備え、高い発光強度が得られる化合物半導体発光ダイオードに関する。

【背景技術】

【0002】

緑色帯から赤色帯の光を発光するLEDとして、発光層がリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム混晶（組成式 $Al_xGa_yIn_zP$ ： $0 \leq X, Y, Z \leq 1$ 、 $X+Y+Z=$

1）から構成されているLEDが知られている（非特許文献1参照。）。

非特許文献1に開示されたように、短波長の可視光を発光するための発光層は、通常、 $Al_xGa_yIn_zP$ から構成され、室温での禁止帯幅が2エレクトロンボルト（単位： eV ）程度と比較的大きい。

このような発光層には、放射再結合の効率を向上させて、高強度の発光を得るために、クラッド（clad）層を異種（hetero）接合させて異種接合構造の発光部とするのが通例である。

【0003】

例えば、 $Al_xGa_yIn_zP$ からなる発光層にあって、障壁層として異種接合させるクラッド層は、発光層よりも大きな禁止帯幅の $Al_xGa_yIn_zP$ から構成される。キャリアの「閉じ込め」効果をもたらす一方で、大きな禁止帯幅の半導体層とする必要性から、一般にクラッド層は素子を駆動するための電流（素子駆動電流）を発光層の広範囲に拡散させるに不十分となっている。

このため、従来技術では、クラッド層上には、発光層に素子駆動電流を平面的に拡散させることを目的とした電流拡散層を設ける技術が開示されている（特許文献1参照。）。

【0004】

電流拡散層は、素子動作電流を平面的に拡散させるために、比較的禁止帯幅の小さい（例えば発光層よりも禁止帯幅の小さい）半導体材料から構成されている。

例えば、橙色帯或いは赤色帯発光用の化合物半導体発光ダイオードとして、 Al_xGa

$y\text{In}_z\text{P}$ から構成された発光層上に、砒化アルミニウム・ガリウム（組成式 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ ： $0 \leq x, y \leq 1$ ）からなる電流拡散層が備えられたものが開示されている（例えば、特許文献2の第4頁段落0010参照。）。

しかしながら、このように禁止帯幅が小さい半導体材料から構成された電流拡散層は、発光層から発せられた光を原理的に吸収してしまう。従って、高強度の発光を得るために発光部を異種接合構造としても、従来の電流拡散層が発光部上の発光の取り出し方向に設けられた構成では、必ずしも高強度のLEDを安定して得るに至らない。

【0005】

一方で、電流拡散層が、インジウム・錫複合酸化膜（略称：ITO）等の光学的に透明な材料から構成されたLEDが開示されている（例えば、特許文献3参照。）。

ITO等の透明酸化物は禁止帯幅も高く、また、低抵抗であるため、発光を外部へ取り出すための窓（window）層を兼用する電流拡散層を構成する材料として利用できる。

しかし、一般に透明酸化物は、III-V族化合物半導体とのオーミック（Ohmic）接触性を安定して確保することが難しく、これにより素子駆動電流を広範囲に拡散し難くなる場合があった。

これを克服するために特許文献3では、III-V族化合物半導体層から成るクラッド層の表面に複数のオーミック性電極を分散させて配置させることにより、素子駆動電流を発光層に拡散させる技術が開示されている。

しかし、オーミック電極を分散して配置しようとする、例えば、LEDを製造するための工程が煩雑となる欠点となっている。

【特許文献1】米国特許第5008718号公報

【特許文献2】特開平11-4020号公報

【特許文献3】特開2001-144330号公報

【非特許文献1】Y. Hosokawa（ワイ・ホソカワ）他、ジャーナル オブ クリスタル グロース（J. Crystal Growth）、第221巻、2000年（オランダ）、652～656頁

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

LEDを構成する電流拡散層は、素子駆動電流を発光層の広範囲に十分に拡散でき、尚且つ、発光層からの発光を吸収せずに外部へ取り出せる光学的に透明な材料から構成する必要がある。このためには、電流拡散層の常温での禁止帯幅が、発光層の常温での禁止帯幅を超える広い値とする必要がある。

しかし、電流拡散層を構成する材料として、従来から用いられている $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$

($0 \leq x, y \leq 1$) では、十分に低い抵抗の導電層を形成し難い問題がある。従って、素子駆動電流を拡散させるに十分な電流拡散層を安定して形成でき得ていない欠点がある。

【0007】

また、亜鉛 (Zn) を構成元素として含む III-V 族化合物半導体層は、酸化され易いため、動作信頼性に優れる発光素子とするためには、耐酸化用途の保護膜を必要とする等、素子作製工程上、煩雑さをともなう場合があった。

【0008】

また、電流拡散層として利用されている別の材料である ITO 等の酸化物材料は、例えば、クラッド層をなす III-V 族化合物半導体と良好なオーミック接触性が安定して得られない。このため、例えば透明酸化物材料からなる電流拡散層と、クラッド層との間の抵抗値が大きくなってしまい、順方向電圧 (V_f) の低い LED を得るに不都合となる場合がある。

【0009】

本発明は、上記の従来技術の問題点を克服すべくなされたもので、素子駆動電流を発光層に拡散させるために好都合な低抵抗の導電層を簡易に形成でき、また、光学的に透明であり、尚且つ LED を構成する III-V 族化合物半導体層とのオーミック接触性に優れた化合物半導体材料から電流拡散層を構成して、順方向電圧等の電気的特性に優れた化合物半導体 LED を提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

即ち、本発明は、(1) III-V 族化合物半導体からなる発光層と、該発光層上に設けられた III-V 族化合物半導体からなる電流拡散層とを備えた化合物半導体発光ダイオードにおいて、前記電流拡散層が、導電性のリン化硼素系半導体から構成され、前記電流拡散層の室温での禁止帯幅が、前記発光層の室温での禁止帯幅よりも大きいことを特徴とする化合物半導体発光ダイオードである。

【0011】

(2) 前記電流拡散層が、単量体のリン化硼素、組成式 $\text{B}_\alpha\text{Ga}_\gamma\text{In}_{1-\alpha-\gamma}\text{P}$ (

$0 < \alpha \leq 1, 0 \leq \gamma < 1$) で表されるリン化硼素・ガリウム・インジウム、組成式 $\text{BP}_{1-\delta}\text{N}_\delta$ ($0 \leq \delta < 1$) で表される窒化リン化硼素、組成式 $\text{B}_\alpha\text{P}_{1-\delta}\text{As}_\delta$ で表され

る砒化リン化硼素から選択された少なくとも一種以上から構成されていることを特徴とする

を特徴とする (1) に記載の化合物半導体発光ダイオードである。

【0012】

(3) 前記電流拡散層の室温での禁止帯幅と、前記発光層の室温での禁止帯幅との差が、 0.1 eV 以上であることを特徴とする(1)又は(2)に記載の化合物半導体発光ダイオードである。

【0013】

(4) 前記電流拡散層の室温での禁止帯幅が、 $2.8\text{ eV} \sim 5.0\text{ eV}$ であることを特徴とする(1)乃至(3)の何れか1項に記載の化合物半導体発光ダイオードである。

【0014】

(5) 前記電流拡散層は、その室温でのキャリア濃度が $1 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ 以上であり、抵抗率が $5 \times 10^{-2}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下であり、厚さが 50 nm 以上、 5000 nm 以下であることを特徴とする(1)乃至(4)の何れか1項に記載の化合物半導体発光ダイオードである。

【0015】

(6) 前記電流拡散層と前記発光層との間に、III-V族化合物半導体からなるクラッド層が備えられ、前記クラッド層の室温での禁止帯幅が、前記発光層の室温での禁止帯幅よりも大きく、かつ前記電流拡散層の室温での禁止帯幅以下であることを特徴とする(1)乃至(5)の何れか1項に記載の化合物半導体発光ダイオードである。

【0016】

(7) 前記クラッド層がアルミニウム、ガリウム、及びインジウムを含有するIII-V族化合物半導体から構成され、前記電流拡散層は、アルミニウム、ガリウム、インジウムのうち少なくとも一種以上を含むリン化砒素系半導体から構成されていることを特徴とする(6)に記載の化合物半導体発光ダイオードである。

【0017】

(8) 前記電流拡散層と前記クラッド層として、リン化砒素系半導体から構成され、組成に勾配を付した組成勾配層が備えられていることを特徴とする(6)又は(7)に記載の化合物半導体発光ダイオードである。

【0018】

(9) 前記発光層が、組成式 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z=1$)で表されるリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム混晶から構成され、前記電流拡散層又は前記クラッド層が、不純物を故意に添加していないアンドープのリン化砒素系半導体から構成されていることを特徴とする(1)乃至(8)の何れか1項に記載の化合物半導体発光ダイオードである。

【0019】

(10) 前記電流拡散層又は前記組成勾配層には、オーミック接触性の電極が接合されていることを特徴とする(1)乃至(9)の何れか1項に記載の化合物半導体発光ダイオードである。

【発明の効果】

【0020】

室温で広い禁止帯幅を有するリン化硼素系半導体層からなる電流拡散層は、素子駆動電流をクラッド層、発光層へ拡散させると共に、発光を外部へ取り出すための窓層としても有効に作用する。

【0021】

このため、本発明に依れば、電流拡散層が、発光層を超える広い禁止帯幅を室温で有し、且つ低抵抗の導電性のリン化硼素系半導体から構成されたことによって、素子駆動電流を発光領域に広範囲に拡散できる。また前記電流拡散層は、光学的に透明であり、かつIII-V族化合物半導体層からなる発光層とのオーミック接触性に優れ、簡易に形成できる。

このため、順方向電圧等の電気的特性に優れ、発光領域に於ける発光の強度を均一化でき、またその均一な強度の発光を吸収せずに外部に透過できる化合物半導体発光ダイオードが実現できる。

【0022】

更に、電流拡散層と発光層との中間に、III-V族化合物半導体からなるクラッド層が備えられ、このクラッド層の室温での禁止帯幅が、発光層の室温での禁止帯幅を超え、かつ電流拡散層の室温での禁止帯幅以下であることによって、化合物半導体発光ダイオードの厚さ方向に対して、禁止帯幅を発光層から電流拡散層へ緩やかに変化させることができ、順方向電の低い化合物半導体発光ダイオードを提供できる。

【0023】

また、電流拡散層とクラッド層とが、広い禁止帯幅を有し、且つ低抵抗の導電性のリン化硼素系半導体から構成されたことによって、発光層の略全領域から、略一定の強度の発光が可能な化合物半導体発光ダイオードを提供できる。

【0024】

また、前記発光層が、組成式 $Al_xGa_yIn_zP$ ($0 \leq X, Y, Z \leq 1, X+Y+Z=1$) で表されるリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム混晶から構成されている場合、電流拡散層が、リンを構成元素として含むアンドープのリン化硼素から構成されたことによって、電流拡散層を広い禁止帯幅を有し、且つ低抵抗とすることができる。

このため、発光層の略全面に素子駆動電流を拡散でき、且つ発光層の全域から所望の波長の、均一な強度の発光をもたらす化合物半導体発光ダイオードを提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

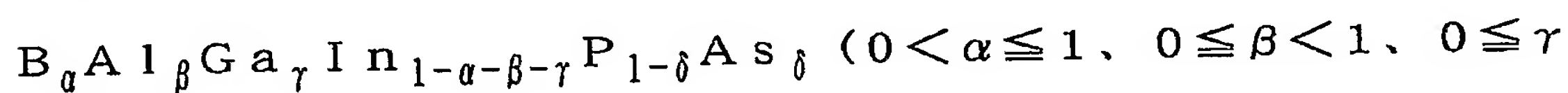
【0025】

本発明の化合物半導体発光ダイオードは、III-V族化合物半導体からなる発光層と、発光層上に設けられた電流拡散層を備えている。

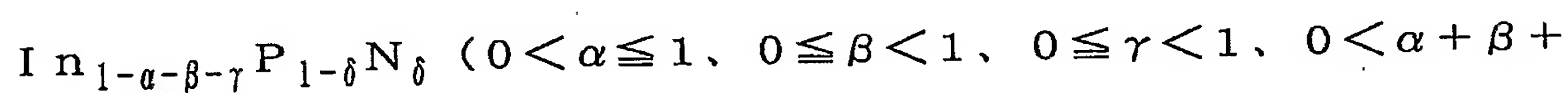
前記電流拡散層は、III-V族化合物半導体のリン化硼素系半導体から構成され、発光ダイオードを駆動するために順方向に流通された素子駆動電流を発光層に拡散させるようになっている。

【0026】

ここで、本明細書中、「リン化硼素系半導体」とは、硼素（B）とリン（P）とを構成元素として含む立方晶閃亜鉛鉱結晶型のIII-V族化合物半導体であり、例えば、組成式

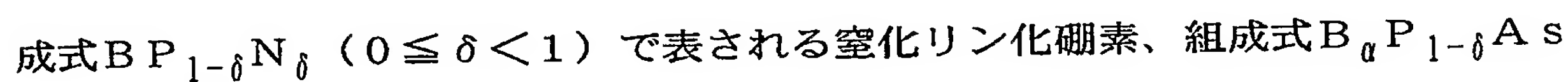
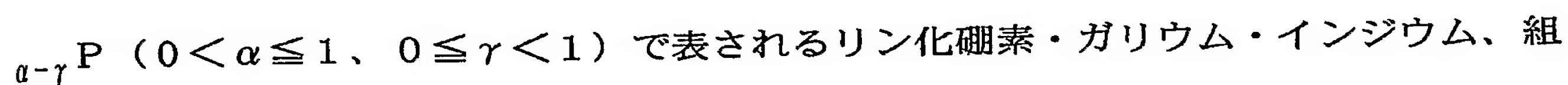


$< 1, 0 < \alpha + \beta + \gamma \leq 1, 0 \leq \delta < 1)$ で表される化合物や、組成式 $B_{\alpha}Al_{\beta}Ga_{\gamma}$



$\gamma \leq 1, 0 \leq \delta < 1)$ で表される化合物等が挙げられる。

特に、本発明で好適に利用できるのは、アルミニウム（Al）等の易酸化性の元素を構成元素として含まず、例えば、単量体のリン化硼素（BP）、組成式 $B_{\alpha}Ga_{\gamma}In_{1-$



δ で表される砒化リン化硼素等の複数のV族元素を含む混晶である。

【0027】

上記の本発明に係わる電流拡散層は、リン化硼素系半導体から構成され、発光層の室温での禁止帯幅（band gap）よりも大きな禁止帯幅を有する。

電流拡散層の室温での禁止帯幅と、発光層の禁止帯幅との差は、0.1 eV以上が好ましく、これにより窓層としても充分に兼用できる電流拡散層を形成できる。

ここで、禁止帯幅は、吸収係数の光子エネルギー（ $=h \cdot \nu$ ）依存性などから求められる。また、屈折率（ n ）及び消衰係数（ k ）の積値（ $=2 \cdot n \cdot k$ ）の光子エネルギー依存性から求められる。

例えば、青色発光用の化合物半導体発光ダイオードとして、発光層がIII-V族化合物半導体からなり、その室温での禁止帯幅が2.7 eV以下（以下eVと示す）

。)である場合、この発光層上には、リン化硼素系半導体から構成され、室温の禁止帯幅が $2.8\text{ eV} \sim 5.0\text{ eV}$ の電流拡散層が備えられる。

【0028】

電流拡散層は、リン化硼素系半導体から構成され、室温での禁止帯幅が $2.8\text{ eV} \sim 5.0\text{ eV}$ であることが好ましく、これにより赤色光から緑色光等の可視光の発光を外部へ透過でき、電流拡散層が窓(window)層を兼用できる。

リン化硼素系半導体からなる電流拡散層の禁止帯幅が 5.0 eV を超える場合、発光層或いはクラッド層等との障壁差が大となり、順方向電圧或いは閾値電圧の低い化合物半導体発光素子を得るに不利となるため好ましくない。

【0029】

また電流拡散層は、室温でのキャリア濃度が $1 \times 10^{19}\text{ cm}^{-3}$ 以上であり、抵抗率が $5 \times 10^{-2}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下の低抵抗のリン化硼素系半導体から構成されていることが好ましい。その層厚は、50ナノメートル(単位: nm)以上で5000 nm以下とするのが適する。

このような低抵抗のリン化硼素系半導体層は、発光層からの発光を外部へ透過するための窓層を兼ねる電流拡散層としても有効に利用できる。

【0030】

リン化硼素系半導体から構成された電流拡散層は、ハロゲン(halogen)法、ハイドライド(hydride; 水素化物)法やMOCVD(有機金属化学的気相堆積)法等の気相成長手段に依り形成される。また、分子線エピタキシャル法でも形成される(J. Solid State Chem., 133(1997)、269~272頁参照)。

例えば、n形の単量体のリン化硼素(BP)からなる電流拡散層の形成方法としては、トリエチル硼素(分子式: $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$)とホスフィン(分子式: PH_3)を原料として用いた常圧(略大気圧)或いは減圧MOCVD法が適用できる。

n形の単量体のリン化硼素(BP)からなる電流拡散層を形成する際の原料供給比率(V/III比率、例えば $\text{PH}_3 / (\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$)は、200以上が好ましく、更に好ましくは400以上が適する。

ここで、本明細書において、「V/III比率」は、気相成長領域に供給する硼素等の第III族原子の濃度に対するリン等の第V族原子の濃度の比率を意味しているものとする。

更に、形成温度、V/III比率に加えて、形成速度を精密に制御すれば、発光層から

の発光をほとんど吸収せずかつ禁止帯幅の大きなリン化硼素系半導体からなる電流拡散層を形成できる。

n形BP層の形成温度としては、700℃～1000℃が適する。

【0031】

また、p形の単量体のリン化硼素（BP）からなる電流拡散層を形成する場合も、トリエチル硼素（分子式： $(C_2H_5)_3B$ ）とホスフィン（分子式： PH_3 ）を原料として

用いた常圧（略大気圧）或いは減圧MOCVD法が適用できる。

このp形BP層の形成温度としては、1000℃～1200℃が適する。形成時の原料供給比率（V／III比率、例えば $PH_3 / (C_2H_5)_3B$ ）は、10～50とするのが適する。

特に、形成速度を2nm／分～30nm／分に設定することによって、室温での禁止帯幅が2.8eV以上の単量体のリン化硼素からなる電流拡散層が得られる（特願2002-158282号参照。）。

【0032】

次に、放射再結合の効率を向上させて高強度の発光を得るために、III-V族化合物半導体からなる発光層に、III-V族化合物半導体からなるクラッド（clad）層が接合された化合物半導体発光ダイオードについて説明する。

この場合、電流拡散層はクラッド上に設けられるため、発光層と電流拡散層との間にクラッド層が位置することになる。

電流拡散層の室温での禁止帯幅は、クラッド層の常温での禁止帯幅よりも大きいことが好ましく、これにより発光層から出射される発光を出来るだけ吸収せずに、外部へ放出させることができる。

特に、クラッド層の室温での禁止帯幅が、発光層の室温での禁止帯幅よりも大きく、かつ電流拡散層の室温での禁止帯幅以下であることが更に好ましい。これにより、禁止帯幅は電流拡散層側から発光層へ向かって減少することになり、LEDの順方向電圧、或いはLDの閾値が増加することを抑制できる。

【0033】

クラッド層が組成式 $Al_xGa_yIn_zP$ （ $0 \leq X, Y, Z \leq 1$ 、 $X+Y+Z=1$ ）で

表される化合物等のように、Al、Ga、及びInの3つのIII族元素を構成元素として含むIII-V族化合物半導体から構成されている場合、電流拡散層は、Al、Ga、Inのうち少なくとも一種以上を含むリン化硼素系半導体から構成されていることが好ましい。

これによりクラッド層上に、電流拡散層を形成する際、クラッド層の表面に存在するI

Ⅲ族元素（Al、Ga、及びIn）が、それらを構成元素として含む電流拡散層の成長を促すため電流拡散層を容易に形成でき、且つクラッド層との密着性に優れた電流拡散層が得られる。

このようなAl、Ga、Inのうち少なくとも一種以上を含むリン化硼素系半導体としては、前述した組成式 $B_\alpha Ga_\gamma In_{1-\alpha-\gamma}P$ （ $0 < \alpha \leq 1$ 、 $0 \leq \gamma < 1$ ）で表され

るリン化硼素・ガリウム・インジウムだけでなく、例えばリン化硼素・インジウム（ B_α

$In_{1-\alpha}P$ ： $0 < \alpha < 1$ ）や砒化リン化硼素・インジウム（ $B_\alpha In_{1-\alpha}P_{1-\delta}As_\delta$

s_δ （ $0 < \alpha < 1$ 、 $0 < \gamma < 1$ ）等も挙げられる。

【0034】

クラッド層として、不純物を故意に添加（ドーピング）したⅢⅢⅢ-V族化合物半導体、例えば亜鉛（Zn）ドープ $Al_x Ga_y In_z P$ 等からなる層が備えられている場合、

クラッド層から拡散して来る不純物（亜鉛）に因り、発光層のキャリア濃度や伝導形が変化し、所望の電圧値とは異なる順方向電圧（Vf）が印加されたり或いは所望の波長とは異なる波長の光が発光される場合があった。

これに対して、n形及びp形リン化硼素層等のアンドープ（undoped）のリン化硼素系半導体は、アンドープでしかも電気抵抗が小さい。

このため、クラッド層は、アンドープ（undoped）のリン化硼素系半導体から構成されていることが好ましい。この場合、クラッド層中の不純物の含有量が少ないため、発光層へ拡散する不純物量を低減でき、不純物の外部拡散に因る発光層の性質の変性を抑制できる。更に低抵抗であるため、素子駆動電流を発光層に拡散し易くなる。

なお、不純物を故意に添加しないアンドープのリン化硼素系半導体から構成された電流拡散層が備えられている場合も、前記したクラッド層と同様の効果が得られる。

【0035】

更に、アンドープの単量体リン化硼素から構成されたクラッド層や電流拡散層では、広い禁止帯幅を有する。このため、発光層が組成式 $Ga_x In_{1-x}N$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）で表

される窒化ガリウム・インジウムや組成式 $GaN_{1-y}Py$ （ $0 \leq y \leq 1$ ）で表される窒

化リン化ガリウムからなる場合、n形またはp形クラッド層としてアンドープの単量体リン化硼素層が適用できる。

特に、発光層が、組成式 $Al_xGa_yIn_zP$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, x + y + z = 1$) 等のリン (P) を構成元素として含む化合物半導体材料からなる場合、クラッド層は、アンドープの単量体リン化硼素層がより好適に適用できる。

発光層に構成元素としてリンが多量に含まれていると、電流拡散層、或いはクラッド層をなすリン化硼素系半導体層からのリン原子の濃度の差異が小さくなる。従って、電流拡散層或いはクラッド層から発光層への (P) 原子の拡散の原動力が小さくなるため、発光層の変性を抑制するに効果が奏される。

【0036】

発光層にクラッド層が接合された化合物半導体発光ダイオードでは、特に、電流拡散層とクラッド層として、組成に勾配 (組成勾配) を付したリン化硼素系半導体層 (以下、組成勾配層とも言う。) が備えられていることが好ましい。

組成勾配層には、組成勾配が、層厚の増加方向、すなわち発光層側から電流拡散層の上面側に向かって、禁止帯幅が増加するように形成されている。

例えば、組成勾配層がリン化硼素・ガリウム ($B_{1-x}Ga_xP$: $0 \leq x \leq 1$) から構成されている場合、層厚の増加方向に、硼素 (B) 組成比 ($= 1 - x$) が増加し、同時にガリウム (Ga) 組成比 ($= x$) が減少するように組成に勾配 (組成勾配) が設けられている。具体的には、発光層と接する部分では硼素組成比 ($= 1 - x$) が 0 のリン化ガリウム (GaP) から構成され、クラッド層から電流拡散層に向かって層厚が増加すると共に硼素組成比が増加し、電流拡散層の上面では硼素組成比が 1 の BP から構成されるように組成に勾配 (組成勾配) が設けられている。

【0037】

このようにリン化硼素系半導体層の組成に勾配 (組成勾配) が設けられたことによって、室温での禁止帯幅がリン化ガリウムの 2.2 eV から例えば 2.8 eV 以上に禁止帯幅を増加させることができ、かつ電流拡散層とクラッド層を兼ねることができる。

このように禁止帯幅が電流拡散層側から発光層へ徐々に減少するように組成勾配を付したリン化硼素系半導体層 (組成勾配層) が備えられたことによって、LED の順方向電圧、或いは LD の閾値が増加するのを抑制するに貢献できる。

【0038】

電流拡散層とクラッド層として、組成勾配層を形成する場合、禁止帯幅が直線的、段階的、或いは曲線的に変化するように組成勾配を変化させて組成勾配層を形成する。

組成勾配層のうち、クラッド層として機能する領域では、層厚の増加方向に禁止帯幅が漸次、増加するように勾配を設ける。

【0039】

電流拡散層上又は組成勾配層上には、n 形または p 形オーミック電極が設けられている

。電流拡散層又は組成勾配層がn形リン化硼素系半導体から構成されている場合、オーミック電極としては、金（Au）・ゲルマニウム（Ge）合金等の金（Au）合金等が適用できる。

電流拡散層又は組成勾配層がp形リン化硼素系半導体から構成されている場合、オーミック電極としては、従来のニッケル（Ni）単体、或いはその合金、金（Au）・亜鉛（Zn）や金（Au）・ベリリウム（Be）合金等が適用できる。

オーミック電極として重層構造のものを適用する場合、最上層は、結線（bonding）を容易となすため、金（Au）またはアルミニウム（Al）から構成するのが好適である。また、例えば、3層の重層構造のオーミック電極にあって、底面部と最上層との間に設けられた中間層は、チタン（Ti）、モリブデン（Mo）等の遷移金属或いは白金（Pt）から構成され得る。

【0040】

電流拡散層や組成勾配層が、リン化硼素系半導体層から構成されたことによって、電流拡散層又は組成勾配層がクラッド層等の他の層よりも大きな禁止帯幅を有していても、この電流拡散層上又は組成勾配層上に良好なオーミック接触性の電極を形成できる。

これは、 Al_xGa_yAs や $Al_xGa_yIn_zP$ から構成された従来の電流拡散層に

比べて、リン化硼素系半導体から構成された電流拡散層や組成勾配層では、イオン（ion）結合性が小さいため、禁止帯幅が広くとも、従来の半導体材料に比較して顕著に低抵抗な導電層が得られるからである。リン化硼素系半導体の一例として単量体のリン化硼素

（BP）では、アンドープ状態で $10^{19} \text{ cm}^{-3} \sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ の高キャリア濃度

の導電層が簡便に得られる。即ち、リン化硼素系半導体から構成された電流拡散層や組成勾配層では、禁止帯幅が大きいだけに発光の外部への透過性に優れ、且つ、電流拡散層や組成勾配層上に低接触抵抗のオーミック電極を形成できる。

【実施例】

【0041】

（第1実施例）

単量体のリン化硼素半導体から構成された電流拡散層を備えたリン化硼素系LEDを例にして、本発明を具体的に説明する。

【0042】

図1は、第1実施例のダブルヘテロ（DH）接合構造のリン化硼素系LED10とその積層構造体11の断面構造を示す模式図である。ここで、図1は模式図であり、各層の厚さの比等の寸法は実際とは異なる場合がある。

積層構造体11は、亜鉛（Zn）をドーピングしたp形の（100）-砒化ガリウム（GaAs）単結晶基板100上に、亜鉛をドーピングしたp形のGaAsからなる緩衝層101、

亜鉛をドーピングしたリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム混晶 ($(\text{Al}_{0.70}\text{Ga}$

$_{0.30})_{0.50}\text{In}_{0.50}\text{P}$) からなる下部クラッド層 102、アンドープで n 形

の ($\text{Al}_{0.14}\text{Ga}_{0.86})_{0.50}\text{In}_{0.50}\text{P}$ からなる発光層 103、セレン

(Se) をドーピングした n 形の ($\text{Al}_{0.70}\text{Ga}_{0.30})_{0.50}\text{In}_{0.50}\text{P}$ から

なる上部クラッド層 104 を、順次、堆積して形成した (J. Korean Association of Crystal Growth, 11 (5) (2001)、207-210 頁参照。)

基板 100 上の各層 101~104 は、一般的な減圧 MOCVD 手段に依り気相成長させた。

【0043】

($\text{Al}_{0.70}\text{Ga}_{0.30})_{0.50}\text{In}_{0.50}\text{P}$ からなる上部クラッド層 104

上に、アンドープで n 形のリン化硼素・インジウム ($\text{B}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{P}$) を堆積

して電流拡散層 105 を形成した。

n 形リン化硼素・インジウムから構成された電流拡散層 105 は、トリエチル硼素 (分子式: $(\text{C}_2\text{H}_5)_3\text{B}$) を硼素 (B) 源とし、トリメチルインジウム (分子式: $(\text{CH}_3)_3\text{In}$) をインジウム源とし、ホスフィン (分子式: PH_3) をリン源とし、常圧 (

略大気圧) 有機金属気相エピタキシー (MOVPE) 法により形成した。

【0044】

この電流拡散層 105 の形成条件は、室温での禁止帯幅が約 4.3 eV である単量体のリン化硼素 (BP) を形成する際の条件と同様に、V/I I I 比率が 800、成長温度が 700℃、成長速度が 30 nm/分とした。

電流拡散層 105 を構成する n 形リン化硼素・インジウムの硼素 (B) 組成比は 0.40 とし、GaAs とは格子整合しないが、広い禁止帯幅が得られるようにした。またこの n 形リン化硼素・インジウムから構成された電流拡散層 105 の層厚は 700 nm とした。

【0045】

得られた電流拡散層 105 は、アンドープの n 形 $\text{B}_{0.40}\text{In}_{0.60}\text{P}$ から構成さ

れ、室温での禁止帯幅は、2.5 eV となった。

またキャリア濃度は $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ であり、室温での抵抗率は $2 \times 10^{-2} \Omega \cdot$

cm であった。

【0046】

この電流拡散層 105 の表面の全面に、通常の真空蒸着法及び電子ビーム蒸着法に依り金 (Au) ・ゲルマニウム (Ge) 合金膜、ニッケル (Ni) 膜、及び金 (Au) 膜を、順次、被着させた。

次に、結線用の台座 (pad) 電極を兼ねる n 形オーミック電極 106 を設ける領域に限り、底面部を Au ・ Ge 合金膜とする上記の 3 層重層電極を残置させるために、公知のフォトリソグラフィ技術を利用して選択的にパターニングを施した。

次に、n 形オーミック電極 106 とする以外の領域に在る Au ・ Ge 合金膜等をエッチングして除去し、電流拡散層 105 をなす n 形リン化硼素・インジウム層の表面を露出させた。

【0047】

フォトレジスト材を剥離した後、再び、選択的パターニングを施し、個別の発光素子 (チップ) に裁断するために、線幅が $50 \mu\text{m}$ であり、基板 100 の $\langle 110 \rangle$ 結晶方位に平行に格子状の溝を設けた。

然る後、塩素を含むハロゲン系混合ガスを利用したプラズマドライエッチング手法に依り、上記のパターニングを施した領域に限定して、n 形リン化硼素・インジウム層を選択的にエッチングで除去した。

一方、p 形 GaAs 単結晶基板 100 の裏面の全面には、一般の真空蒸着法に依り、金・ベリリウム (Au ・ Be) 膜を被着させて p 形オーミック電極 107 を形成した。

その後、GaAs 基板 100 を、 $\langle 110 \rangle$ 結晶方位に平行に設けた線幅が $50 \mu\text{m}$ の上記帯状の溝に沿って劈開し、一辺を $350 \mu\text{m}$ とする正方形の LED チップ 10 に分割した。

【0048】

n 形オーミック電極 106 と p 形オーミック電極 107 との間に、順方向に 20 mA の素子駆動電流を流通して LED チップ 10 の発光特性を確認した。LED 10 からは中心の波長を 610 nm とする橙色味を帯びた赤色光が放射された。

n 形オーミック電極 106 の射影領域以外の発光層 103 の平面領域の略全面から発光が外部へもたらされるのが視認された。発光パターンの近視野像から、上記の射影領域以外の発光層 103 の領域からの発光の強度は略一定であるのが示された。このため、一般的な積分球を利用して測定される樹脂モールド以前のチップ (chip) 状態での輝度は 40 ミリカンデラ (mcd) に達した。

電流拡散層 105 が、広い禁止帯幅を有しかつ低抵抗である n 形リン化硼素・インジウムから構成されたことによって、電流拡散層 105 が発光層 103 からの発光を外部へ透

過するための窓層として兼用できた。

【0049】

また、n形オーミック電極106が、低抵抗のn形リン化硼素・インジウムからなる電流拡散層105上に設けられたことによって、順方向電圧（V_f）を2.3Vと低い値とすることができた。一方、逆方向電流を10μAとした際の逆方向電圧は8Vを越える高値となった。

【0050】

（第2実施例）

硼素の組成に勾配を付したリン化硼素系半導体層（組成勾配層）が、電流拡散層を兼用するクラッド層として備えられたリン化硼素系半導体LEDを例にして本発明を具体的に説明する。

【0051】

図2は、第2実施例のリン化硼素系LED20の断面構造を示す模式図である。ここで、図2は図1と同様に模式図であり、各層の厚さの比等の寸法は実際とは異なる場合がある。

また、図1に示されたリン化硼素系LED10と同一の構成要素については、同一の符号を付して、その説明を省略する。

【0052】

第2実施例では、第1実施例のリン化硼素系LED10におけるセレン（Se）をドープしたn形の $(Al_{0.70}Ga_{0.30})_{0.50}In_{0.50}P$ からなる上部クラッド層104を薄膜クラッド層（以下、上部クラッド層と同じ符号104を付す。）として、その上に、アンドープでn形のリン化硼素・ガリウム混晶 $(B_{\alpha}Ga_{1-\alpha}P : 0 < \alpha < 1)$ からなる組成勾配層108を形成した。

セレン（Se）をドープしたn形 $(Al_{0.70}Ga_{0.30})_{0.50}In_{0.50}P$

Pから構成された薄膜クラッド層104は、層厚を75nmとする以外は、上記の第1実施例の上部クラッド層104（層厚5μm）と同様の方法で形成した。

【0053】

$B_{\alpha}Ga_{1-\alpha}P$ （ $0 < \alpha < 1$ ）から構成された組成勾配層108は、 $(C_2H_5)_3$

$B / (CH_3)_3Ga / PH_3$ 系減圧MOCVD法により750℃で形成した。層厚は7

40nmとした。組成勾配層108の硼素（B）組成比（ α ）は、薄膜クラッド層104

との接合界面では0.05とした。硼素組成比は、 $(C_2H_5)_3B$ の気相成長系への供

給量を一定に維持しつつ、 $(CH_3)_3Ga$ の供給量を経時的に一定の割合で減少させる

ことにより、層厚の増加と共に、直線的な組成勾配を付し、表面で硼素(B)組成比(α)が1.0、即ち、リン化硼素(BP)となるように形成した。

【0054】

$B_\alpha Ga_{1-\alpha}P$ から構成された組成勾配層108の表面近傍の領域でのキャリア濃度

は $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であり、抵抗率は $6 \times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$ であった。

また、一般的な分光エリプソメータを使用して組成勾配層108の屈折率と消衰係数を計測し、この測定値を用いて組成勾配層108の禁止帯幅の平均値を算出した結果、約3.1 eVであることがわかった。特に表層部(表面から約100 nmの深さに至る表層部)の室温での禁止帯幅は約4.0 eVであった。このため、組成勾配層108を、窓層及び電流拡散層を兼用するクラッド層として利用できる。

【0055】

一般的なSIMS分析手段で、組成勾配層108のリン(P)原子濃度の深さ方向の分布を測定した。その結果、組成勾配層108のリン(P)が、薄膜クラッド層104を介して発光層103へ多量に拡散している様子は、特に認められなかった。

【0056】

次に、組成勾配層108の上面の中央部に、第1実施例に倣い、直径が約130 μm の平面視円形のn形オーミック電極106を設けた。また、GaAs基板100の裏面の全体には、上記の第1実施例に記載の如く、Au・Be合金からなるp形オーミック電極107を形成した。p形オーミック電極107をなすAu・Be合金膜の膜厚は約2 μm とした。

【0057】

次に、n形オーミック電極106を形成するに併せて、基板100をなす(100)-GaAs単結晶の $[1. -1. 0]$ 及び $[-1. -1. 0]$ 結晶方位に平行に格子状に形成した裁断線に沿って、個別のチップに分離、裁断した。これより、一辺を400 μm とする平面視正方形のLEDチップ20となした。

【0058】

LEDチップ20のn形オーミック電極106とp形オーミック電極107との間に、20 mAの順方向電流を通流したところ、所望する中心波長を610 nmとする赤橙色の発光が出射された。また、近視野発光像の観察に依り、チップ20の中央部のn形オーミック電極106以外の発光領域からの均一な強度の発光がもたらされているのが確認され

た。

これより、素子駆動電流を発光面に拡散させるために、従来技術のようにクラッド層の平面上に複数の小型のオーミック電極を取えて設ける煩雑さを要せずとも、本発明に依れば、素子動作電流を発光層 103 に広範囲に均一に拡散させられることが示された。また、一般的な積分球を使用して測定される発光の強度は約 44 mcd に達した。

【0059】

また、電流拡散層及び窓層を兼ねる組成勾配層 108 では、電流拡散層の表面側から発光層 103 に向けて禁止帯幅を漸次、減少させたため、順方向電流を 20 mA とした際の順方向電圧は 2.3 V の低値に抑えられ、逆方向電流を 10 μ A とした際の逆方向電圧は 8 V であった。

【産業上の利用可能性】

【0060】

本発明によると、III-V 族化合物半導体からなる発光層を備えた各種発光波長の化合物半導体 LED として利用でき、特に高輝度が得られ、表示ディスプレイ用 LED や、光通信機器等の電子機器用の LED 等として利用できる。

【図面の簡単な説明】

【0061】

【図 1】 第 1 実施例の LED の断面構造を示す模式図である。

【図 2】 第 2 実施例の LED の断面構造を示す模式図である。

【符号の説明】

【0062】

10、20 LED

11 積層構造体

100 GaAs 基板

101 p 形緩衝層

102 p 形下部クラッド層

103 n 形発光層

104 n 形上部クラッド層

105 電流拡散層

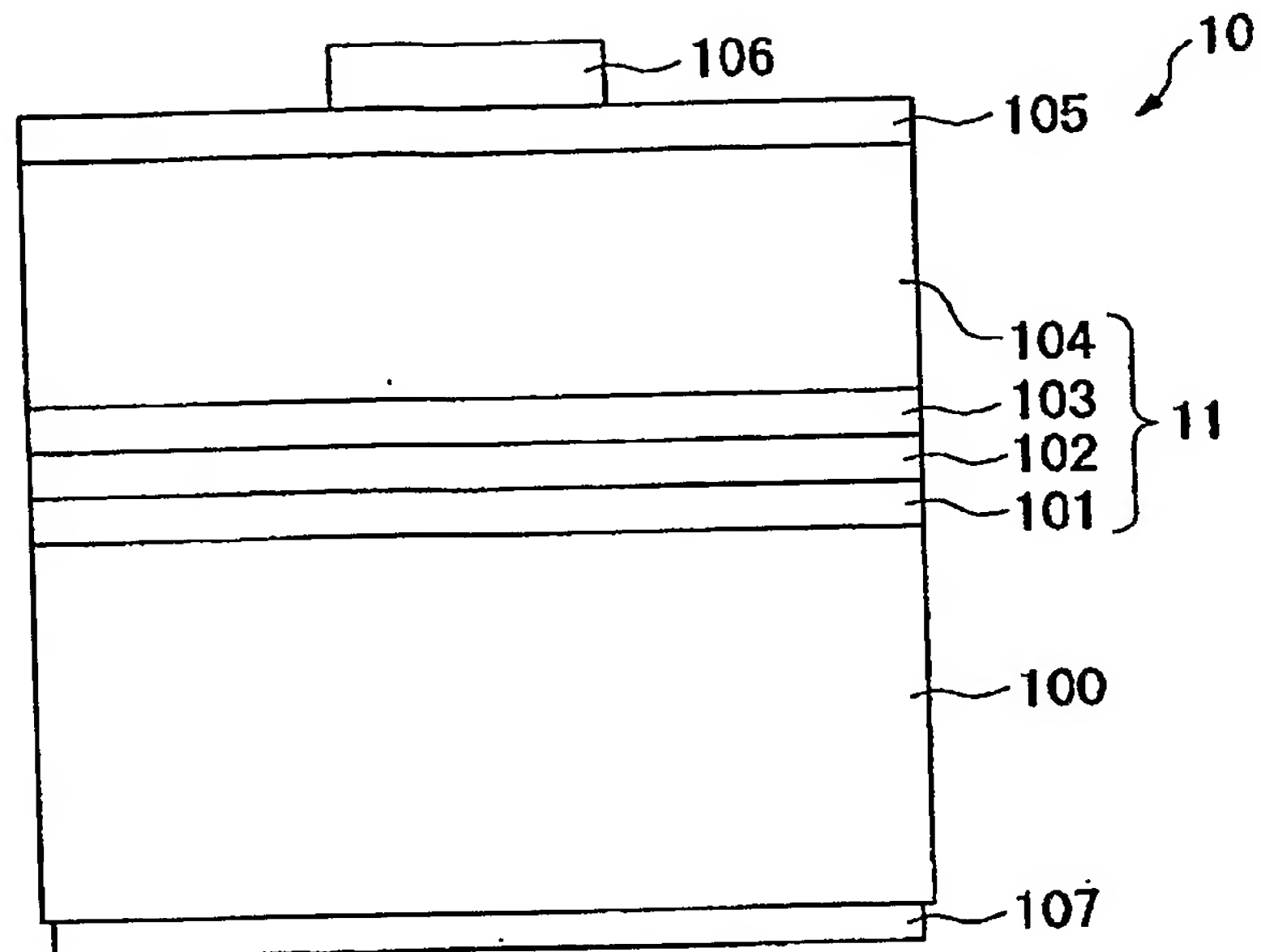
106 n 形オーミック電極

107 p 形オーミック電極

108 組成勾配層

【書類名】 図面

【図 1】



【図 2】

